

7. Вишняков А.К., Баталин Ю.В., Хамин В.А. Скважинный способ добычи горизонтальными камерами на примере месторождений минеральных солей // Рациональное освоение недр. — 2014. — № 5–6. — С. 98–105.
8. Войтенко В.С., Шемет С.Ф. и др. Поиск эффективных технологий разработки маломощных калийных пластов способом подземного растворения // Горный журнал. — 2014. — № 2. — С. 33–35.
9. Ефремов Е.Н. Оценка потребности сельского хозяйства в минеральных удобрениях на перспективу до 2020 г. // Вестн. хим. промышленности. — 2011. — № 6(63). — С. 28–31.
10. Кузнецова Т.М. Рынок хлора и каустика // Химический комплекс России. — 2007. — № 1. — С. 12–16.
11. Михайлов Б.К. Развитие экономических механизмов модернизации минерально-сырьевого сектора России на инновационной основе // Отечественная геология. — 2011. — № 2. — С. 3–12.
12. Михайлов Б.К., Беневоольский Б.И., Михайлова В.П. Программно-целевые принципы планирования воспроизводства минерально-сырьевой базы твердых полезных ископаемых // Минеральные ресурсы России. — 2014. — № 1. — С. 55–62.
13. Прюдом М. Поставки сырья и удобрений. Мировой баланс спроса и предложения 2011–2015 гг. / 79-я ежегодн. конф. JFA. — Монреаль, 2011. — С. 21–30.
14. Соловьев В.А., Константинова С.А. Некоторые аспекты инновационного подхода к разработке краевых частей Верхнекамского месторождения // Рациональное освоение недр. — 2011. — № 1. — С. 48–51.
15. Филипп С., Нортон Р. Производство зерна пшеницы и применение минеральных удобрений в мире // Питание растений. — 2012. — № 4. — С. 2–5.

© Коллектив авторов, 2015

Баталин Юрий Владимирович // root@geolnerud.net
 Васильев Николай Глебович // nauka@geolnerud.net
 Вишняков Андрей Константинович // technology-geolnerud@yandex.ru
 Фахрутдинов Роберт Закиевич // root@geolnerud.net

УДК 553.573:576.003.12.041.004.14:550.8023:666.9.017:351.82(47+57)

**Аксенов Е.М., Быдтаева Н.Г., Бурьян Ю.И.,
 Колмогоров Ю.Г., Непряхин А.Е., Нигматов И.Н.
 (ФГУП «ЦНИИгеолнеруд»)**

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КВАРЦЕВОГО СЫРЬЯ РОССИИ В ВЫСОКИХ ТЕХНОЛОГИЯХ

*Рассмотрены основные направления использования на мировом рынке кварцевого сырья и продукции из него. Приведены результаты изучения объектов гранулированного кварца нераспределенного фонда недр и возможных альтернативных источников: кварцитов, кор выветривания, кварца кварц-золоторудной формации. Определены перспективные районы для постановки поисковых работ на высококачественное кварцевое сырье. **Ключевые слова:** кварц, концентраты, классификация, геолого-технологический, месторождение, традиционный, альтернативный, аналитический, технологический, анализ, рекомендации, промышленный, высокий, технология, Россия.*

Aksenov E.M., Bydtaeva N.G., Buryan Yu.I., Kolmogorov Yu.G., Nepryakhin A.E., Nigmatov I.N. (TSNIIGeolnerud)

**PERSPECTIVES OF UTILIZATION OF RUSSIA'S QUARTZ
 RAW MATERIALS IN HIGH TECHNOLOGIES**

The main trends of the utilization of the quartz raw materials and their products in the world market have been studied. There have also been presented the results of the thorough investigation of the granulated quartz objects of non-distributed mineral resources funds and possible alternative sources such as quartz-

*ites, weathering crusts, and quartz of quartz-gold ore formation. The perspective regions of organization of geological prospecting to find high-quality quartz raw materials have been determined as well. **Key words:** quartz, concentrates, classification, geological-technological, deposit, traditional, alternative, analytical, technological, analysis, recommendation, industrial, high technology, Russia.*

Кварцевое сырье в настоящее время является основным стратегическим источником получения высокочистых кварцевых продуктов для высокотехнологичных производств (рис. 1). К таким продуктам относятся:

кварцевые концентраты, получаемые путем измельчения природного кварца и очищенные от минералогических и химических примесей, с размером частиц 100–300 (100–400) мкм;

кварцевые микропорошки — продукт измельчения природного кварца, очищенный от минералогических и химических примесей, с размером частиц менее 100 мкм;

кварцевые нанопорошки с размером частиц менее 100 нм.

Все кварцевые продукты различной степени химической чистоты являются базовыми компонентами полупроводниковой, светотехнической, оптической и других важнейших отраслей промышленности.

Для производства кварцевых базовых и полупроводниковых материалов содержание алюминия в используемом кварцевом концентрате должно быть менее 10 ppm, а других металлов менее 0,1 ppm, и их общее количество не должно быть более, чем 15 ppm. Для светотехнической и оптической промышленности содержание алюминия в обогащенном кварцевом концентрате не должно превышать 20 ppm, других металлов — не более 1 ppm, и общее количество примесей рекомендуется менее 30 ppm.

Кварцевые микро- и нанопорошки в последние десятилетия пользуются широким спросом на мировом рынке. Из всего их объема, производимых в мире, около 40 % составляют нанопорошки диоксида кремния. Области их применения очень широки — от электроники до производства строительных материалов с повышенными эксплуатационными свойствами.

В настоящее время в мире стоит вопрос о переходе к возобновляемой энергетике, в которой одним из основных исходных компонентов в активно развивающейся «солнечной» энергетике занимает высокочистый металлургический кремний. При получении мульти- и монокристаллического кремния использование природного жильного кварца с низким содержанием электрически активных примесей (Al, Fe, Ti, V, P, B) существенно снижает экономические затраты на их производство. На рынке потребления кварцевых продуктов получение продуктов для «солнечной» энергетики занимает существенный объем с явно выраженной тенденцией его роста.

Минерально-сырьевая база кварцевого сырья России, используемого в высокотехнологичных производствах, включает месторождения пьезооптического кварца, горного хрусталя, гранулированного, прозрачного и непрозрачного (молочно-белого) жильного

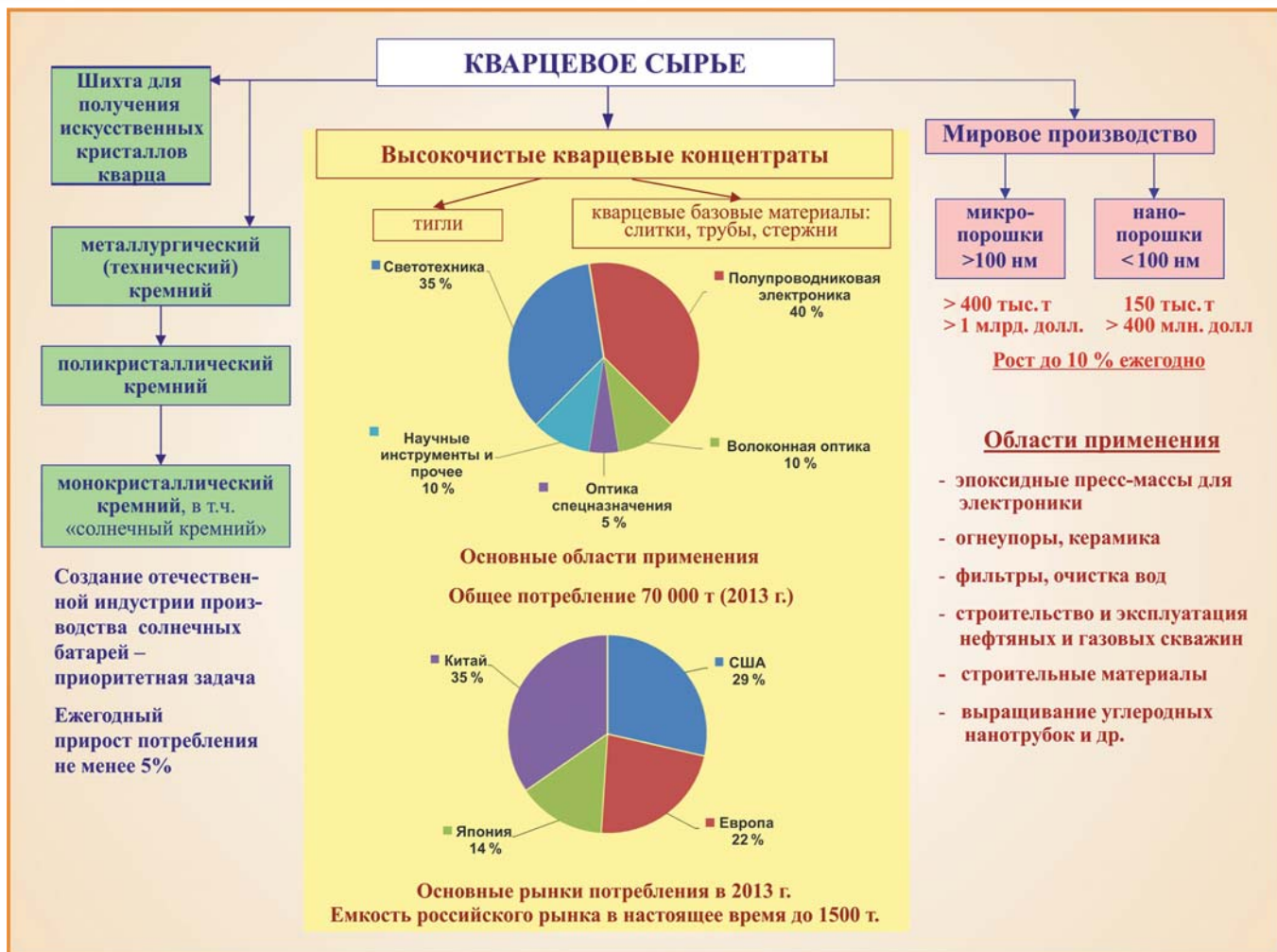


Рис. 1. Основные направления использования кварцевого сырья

кварца и кварцитов (рис. 2, табл. 1). Потребность в пьезооптическом кварце и горном хрустале в настоящее время практически отсутствует по причине замены природного сырья искусственными аналогами, поэтому большинство объектов законсервированы [1].

Уральская кварценозная провинция является ведущей на территории РФ практически на все виды кварцевого сырья. Основными источниками для получения кварцевых концентратов особой чистоты служат гранулированный и прозрачный жильный кварц с ведущей ролью гранулированного. Основные запасы и добыча гранулированного кварца сосредоточены в Южно-Уральской субпровинции, крупнейшими месторождениями которой являются Кыштымское и Ларинское. Запасы прозрачного жильного кварца сосредоточены в Приполярно-Уральской субпровинции (месторождения Желанное, Додо, Пуйва,), в Карело-Кольской (Кейвский район) и Прибайкальской провинциях. Крупные месторождения молочно-белого жильного кварца находятся преимущественно в Южно-Уральской субпровинции (Гора Хрустальная, Светлореченское).

Уральская кварценозная провинция достаточно детально изучена. Перспективы выявления здесь новых крупных объектов ограничены. Открытие мелких, средних по запасам месторождений с высоким качест-

вом сырья может обеспечить текущее восполнение запасов, но не создаст существенного задела на перспективу. Развитие МСБ кварцевого сырья может быть связано с вовлеченностью в геологическое освоение месторождений гранулированного и прозрачного кварца нераспределенного фонда недр и объектов с апробированными прогнозными ресурсами.

Открытие объектов с высоким качеством сырья возможно в районах Карело-Кольской и Прибайкальской кварценозных провинций.

На государственном балансе находятся 14 месторождений гранулированного кварца, в т.ч. в распределенном фонде — 3; 12 месторождений молочно-белого жильного кварца, в т.ч. 5 — в распределенном фонде и 9 месторождений прозрачного жильного кварца для плавки, в т.ч. 5 — в распределенном фонде. В Перечне участков недр федерального значения кроме этих месторождений числятся еще свыше 90 объектов.

Участки недр, содержащие месторождения и проявления особо чистого кварца, как стратегического минерального сырья, в соответствии с Законом «О недрах» (ст. 2.1) Российской Федерации в целях обеспечения обороны страны и безопасности государства отнесены к участкам недр федерального значения распоряжением Правительства Российской Федерации от 16 января

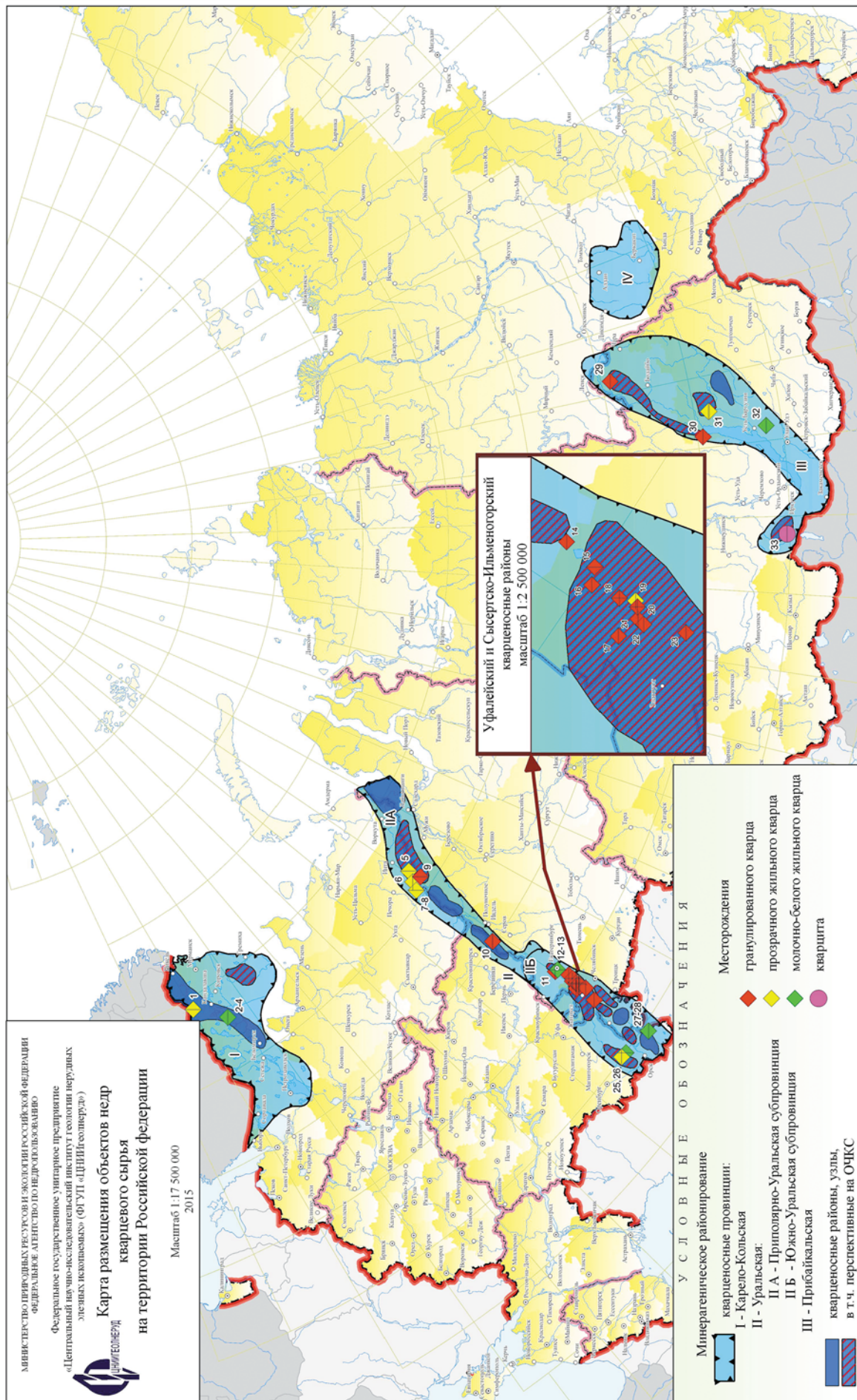


Рис. 2. Карта размещения объектов недр кварцевого сырья на территории Российской Федерации

Таблица 1
Месторождения кварцевого сырья

Но- мер на карте	Название	Вид основного полезного ископаемого	Но- мер на карте	Название	Вид основного полезного ископа- емого
Карело-Кольская кварценозная провинция			17	Егустинское	Гранулированный кварц
1	Перчатка	Прозрачный жиль- ный кварц	18	Кузнечихинское	Гранулированный кварц
2	Малиновая Ва- ракка	Молочно-белый жильный кварц	19	Пугачевское	Прозрачный жиль- ный кварц
3	Плотина	Молочно-белый жильный кварц	20	Кыштымское	Гранулированный кварц
4	Слюдозеро	Молочно-белый жильный кварц	21	Уфимское	Гранулированный кварц
Уральская кварценозная провинция			22	Агордяшское	Гранулированный кварц
5	Желанное	Прозрачный жиль- ный кварц	23	Аргазинское	Гранулированный кварц
6	Омега-Шор	Прозрачный жиль- ный кварц	24	Ларинское	Гранулированный кварц
7	Додо	Прозрачный жиль- ный кварц	25	Ново-Троицкое	Прозрачный жиль- ный кварц
8	Пуйва (участки Западный и Хусь-Ойка)	Прозрачный жиль- ный кварц	26	Караяновское	Молочно-белый жильный кварц
9	Нестер-Шор	Гранулированный кварц	27	Северо-Миро- новское	Молочно-белый жильный кварц
10	Аятское	Гранулированный кварц	28	Брацлавское	Молочно-белый жильный кварц
11	Придорожное	Гранулированный кварц	Прибайкальская кварценозная провинция		
12	Светлореченское	Молочно-белый жильный кварц	29	Жила 2821, Малочипикетская площадь	Гранулированный кварц
13	Гора Хрустальная	Молочно-белый жильный кварц	30	Годжежитское	Гранулированный кварц
14	Иткульское	Гранулированный кварц	31	Чулбонское	Прозрачный жиль- ный кварц
15	Вязовское	Гранулированный кварц	32	Атарханское	Молочно-белый жильный кварц
16	Маукское	Гранулированный кварц	33	Бурал-Сардык- ское	Кварцит

1996 г. № 50-р. При этом нет четкого определения особо чистого кварцевого сырья. ОАО «Центркварц» предложено следующее определение: «Особо чистое кварцевое сырье включает: горный хрусталь для плавки, гранулированный и прозрачный жильный кварц, чистые разновидности кварцитов, которые при обогащении позволяют получать кварцевые концентраты с содержанием кремнезема (SiO_2) не менее 99,9975 % и суммарным содержанием элементов-примесей не более 25 ppm». В предложенном определении отсутствует указание на параметры коэффициента светопропускания (75–80). Для отнесения сырья к особо чистому необходимо получение концентратов и их испытания. К объектам особо чистого кварцевого сырья рекомендуется относить только месторождения, учтенные Государственным балансом запасов или объекты с прогнозными ресурсами высоких категорий, кварцевое

сырье которых по результатам технологических испытаний признано пригодным для получения ОЧК-концентратов. Также необходимы положительные результаты плавки и/или получения готовой продукции (кварцевые стекла, трубы, тигли т.д.). Несмотря на это, в Перечень включены практически все месторождения и проявления кварцевого сырья регионов РФ, значительная часть которых по своим качественным характеристикам не соответствует требованиям к особо чистому кварцевому сырью.

К высокочистому кварцевому концентрату в мировой практике относят продукт с содержанием SiO_2 не менее 99,99 %. Эталон чистоты всего рынка высокочистых кварцевых концентратов является концентрат «Iota» с содержанием SiO_2 99,998 % и элементов-примесей менее 20 ppm.

Для анализа, оценки и актуализации минерально-сырьевой базы кварцевого сырья для обеспечения производства продуктов высоких технологий в России перед ФГУП «ЦНИИгеолнеруд», как базовой организацией Федерального агентства по недропользованию, были поставлены ряд задач, решаемых в рамках государственных контрактов.

В 2010–2014 гг. ФГУП

«ЦНИИгеолнеруд» совместно с ведущими предприятиями и учеными России — ФГУП (ОАО) «Центркварц» (Н.М. Серых, Л.А. Борисов, А.А. Фролов), ОАО «Кыштымский ГОК» (В.Г. Кузьмин, П.А. Красильников), Институт минералогии КрО РАН (В.Н. Анфилов, М.А. Игуменцева) выполнили крупные научно-исследовательские разработки: «Разработка геолого-технологического комплекса методов по оценке объектов кварцевого сырья для производства особочистых концентратов (как основы проведения кадастровой оценки минерально-сырьевой базы кварца)» и «Повышение инвестиционной привлекательности МСБ кварцевого сырья на основе современных геолого-технологических требований различных отраслей промышленности».

В результате выполненных работ на первом этапе: выполнен анализ состояния и тенденций развития минерально-сырьевой базы и мирового рынка кварце-

вого сырья и кварцевых продуктов (концентратов, микро- и нанопорошков), технологий обогащения и переработки кварцевого сырья, требований, предъявляемых современной промышленностью к качественным характеристикам кварцевого сырья и продуктам из него различного назначения;

разработана геолого-промышленная классификация кварцевого сырья и продукция на его основе (табл. 2);

разработан алгоритм исследований объектов кварцевого сырья при проведении поисково-оценочных работ (рис. 3);

проведены поисково-ревизионные работы на ряде объектов нераспределенного фонда недр на Урале, в Красноярском крае и в Иркутской области.

При выделении промышленных типов месторождений учитывалась как специфика основных черт геологического строения месторождений в целом (рудоносные, рудовмещающие формации и продукты их преобразования, морфология рудных тел и др.), так и комплекс признаков, характеризующих сами жильные тела. Это масштабы минерализации, химический и минеральный состав, структурно-текстурные особенности кварца, характер распределения промышленных и минеральных типов руд, их технологические свойства и экономическая значимость при получении конечного продукта.

Наиболее перспективными для получения высокочистых концентратов являются объекты с гранулиро-

Таблица 2

Геолого-промышленная классификация кварцевого сырья и продукция на его основе

Генетический класс					
Пегматитовый	Гидротермальный		Метаморфогенно-гидротермальный		
Виды кварцевого сырья					
Молочно-белый жильный кварц	Горный хрусталь, молочно-белый и прозрачный жильный кварц		Прозрачный жильный кварц	Гранулированный кварц	
Рудные формации					
Силекситы (месторождения Гора Хрустальная, Светлореченское)	Хрусталеносные кварцевые жилы с крупными запасами особо чистого (от слабо — до прозрачного) жильного кварца		Эклогит-глаукофан-сланцевая (Новотроицкое месторождение Сакмарского кварценосного района)	Кварцито-сланцевая гетерогенного прозрачного гранулированного кварца (Вязовское, Ларинское, Агордяшское месторождения)	Гнейсо-амфиболитовая гомогенного высоко прозрачного гранулированного кварца (Кузнечинское Уфимское, Егустинское месторождения)
	(месторождение Желанное)	неройский тип (месторождения Додо, Пуйва, Хусь-Ойка)			
Кварцевые продукты					
Фракционированный жильный кварц (фракция 20–60 мм)					
Шихта для получения: высокочистого металлургического кремния (марки MG или UMG); ферросилиция, оптического стекловарения (ТУ-5726-001-11496665-97)		Шихта для выращивания искусственных кристаллов кварца (ТУ 41-07-014-86)		Кварцевое сырье не применяется из-за сильной минерализации	
Кварцевые концентраты предварительно обогащенные					
Оптическое стекловарение, фракция 100-500 мкм (ТУ-5726-001-11496665-97)				Кварцевое сырье не применяется из-за сильной минерализации	
Кварцевое сырье не используется из-за невозможности существующими методами обогащения получить химически высокочистый и технологически приемлемый концентрат по причине высокого содержания газово-жидких включений (низкое светопропускание). Это сырье является перспективной базой при выходе на промышленную мощность производства сферических кварцевых концентратов		Кварцевые концентраты глубокообогащенные (высокочистые), фракции 100–300, 100–400 мкм (или под конкретную технологию наплава стекла), получаемые по классической технологии обогащения			
		Преимущественно для производства кварцевых тиглей. Ограничено для получения изделий из прозрачного кварцевого стекла (трубы)		Производство изделий из прозрачного кварцевого стекла и кварцевых тиглей	
		Сферические кварцевые концентраты, получаемые из кристаллических (угловатых), путем плазменной обработки. Прозрачные аморфные сферические формы с высокой химической чистотой			
Микropорошки, фракции от 1 до 100 мкм					
Рядовые угловатые микropорошки, получаемые механическим истиранием	Угловатые микropорошки, получаемые механическим истиранием, с содержанием радиоактивных элементов (U, Th) <0,3 ppb			Возможно получение рядовых угловатых микropорошков при разработке технологии очистки от минеральных примесей	
Аморфные микropорошки (угловатые) на основе плавленого кремнезема с содержанием SiO ₂ от 99,8 до 99,9 %					
Сферические (аморфные) микropорошки после плазменной обработки с содержанием SiO ₂ от 99,5 до 99,9 %					
Нанопорошки, фракция менее 100 нм					
Кристаллические (угловатые) нанопорошки, получаемые путем измельчения					
Нанопорошки высокой химической чистоты с применением газово-фазового (плазменного) метода.					

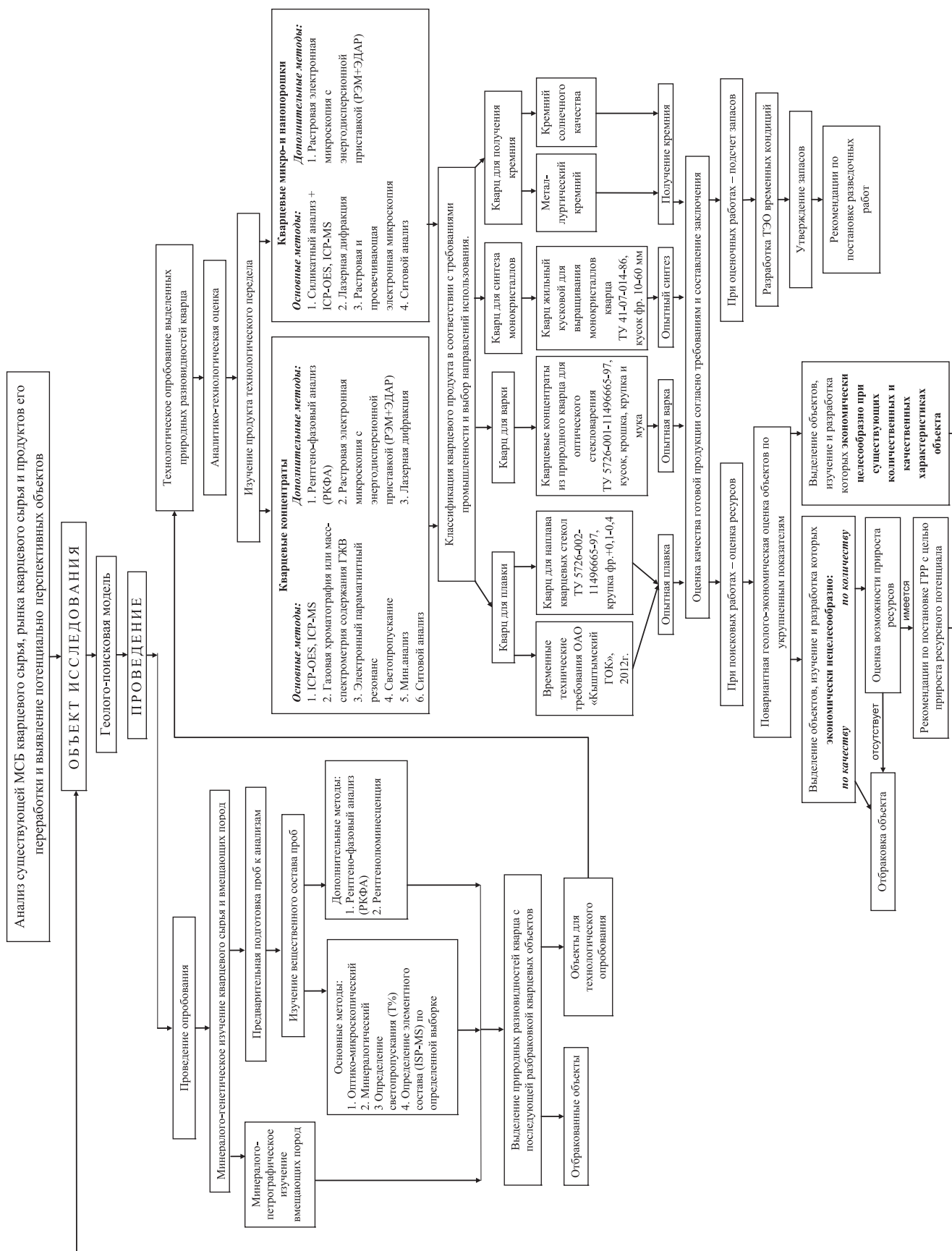


Рис. 3. Алгоритм исследований объектов кварцевого сырья при проведении поисково-оценочных работ

ванным кварцем, сформированным по исходному кварцу жильных тел под воздействием различных метаморфических процессов. В зависимости от Р-Т- условий наложенных процессов преобразование исходного кварца в новообразованный зернистый агрегат может проявиться в полном объеме с образованием однородной структуры рекристаллизации, а при незавершенности процесса структурообразования жилы содержат участки реликтового фрагментарно-стекловидного и молочно-белого кварца. Такой кварц нередко содержит трудно удаляемые минеральные примеси и повышенное количество остаточной флюидной фазы. На объектах гранулированного кварца нераспределенного фонда недр было выделено (условно) два геолого-технологических типа, отличающихся показателями светопропускания.

К первому типу отнесены жилы гомогенного высокопрозрачного гранулированного кварца Уфимского и Егустинского месторождений Уфалейского кварценозного района, кварцевые концентраты которого характеризуются высоким светопропусканием (выше 80 %) и высокой химической чистотой. Кварцевые концентраты из сырья этого типа пригодны для использования в микроэлектронике — для изготовления расходоуемой технологической оснастки термических процессов и для получения стекол электронного качества.

Ко второму типу отнесено кварцевое сырье гетерогенного кластогранулированного прозрачного кварца месторождений Ларинское, Аргазинское, Кундравинское, а также Верхне-Уфалейской и Мало-Чипикетской площадей. Полученные глубоко обогащенные кварцевые концентраты характеризуются высокой химической чистотой, но некоторые из них имеют пониженный показатель светопропускания. Выделенный геолого-технологический тип пригоден для использования стекла в светотехнике и химической промышленности, а отдельные жилы для получения стекол электронного качества.

В результате проведенных прогнозно-ревизионных работ намечены две первоочередные площади для постановки поисковых работ:

Мало-Чипикетская площадь в южной части Патомского кварценозного района Прибайкальской провинции как вероятной новой сырьевой базы гранулированного кварца на востоке страны;

Егустинская и Уфимская площади для обеспечения единственного крупного в стране Кыштымского ГОКа, имеющего две фабрики по обогащению, в т.ч. глубокого обогащения и планирующего увеличение выхода кварцевого концентрата до 10 тыс. т в первом квартале 2016 г.

Геологоразведочные работы, проведенные в 2012–2014 гг. в пределах Кейвского кварценозного узла ОАО «Северкварцсамоцветы» за счет средств федерального бюджета показали, что этот район располагает высококачественным кварцем повышенной прозрачности. Помимо Червуртского кварценозного поля, имеются перспективы обнаружения новых объектов на площади Боллоуртинского поля. В качестве объекта для лицензирования рекомендовано Ларинское месторождение гранулированного кварца (зона 235).

По результатам геолого-экономической оценки, проведенной ОАО «Центркварц» (2004), запасы высококачественного кварца составили по РФ 12–15 % от запасов Госбаланса, что не может удовлетворить потребность отечественной промышленности в данном виде минерального сырья и указывает на его дефицит. В связи с этим возрастает актуальность геологического поиска и технологического освоения новых, альтернативных видов природного кварцевого сырья.

В России одним из таких направлений могут быть геологические и аналитико-технологические работы по изучению кварцитов, кварца золоторудных формаций, кор выветривания, высококремнистых пород.

На Государственном балансе стоят кварциты Бурал-Сардыкского месторождения Гарганского кварценозного района (Восточный Саян), приуроченные к иркутской кремнисто-карбонатной свите. Кварциты сформированы по углистым микрокварцитам (фтанитам), которые отличаются исходно высокой степенью химической чистоты [7, 11]. Полученные кварцевые концентраты, несмотря на высокую химическую чистоту, имеют повышенное содержание остаточной флюидной фазы, содержащей в своем составе, помимо воды, углеводороды и окись углерода [5]. Они непригодны для плавки прозрачного кварцевого стекла, но потенциально пригодны для получения поликристаллического кремния «солнечного» качества и выпуска микропорошков различного назначения.

Работы по изучению альтернативных источников кварцевого сырья проводились совместно с ОАО «Центркварц», ОАО «Кыштымский ГОК», Институтом минералогии Уро РАН. Были изучены и технологически испытаны кварциты Республики Карелия, на перспективность которых указано ранее [8, 9], каолиновые коры выветривания [12] и кварц золоторудных жил. Изучение ограниченного числа месторождений кварцитов показало, что выявление их разновидностей, пригодных для получения кварцевых концентратов высокой чистоты для высокотехнологичных отраслей промышленности, возможно путем их типизации на основе разработки критериев и геологических предположений.

Особенности вещественного состава кварцитов предопределяются генетическим разнообразием исходных пород (терригенно-осадочные, хемогенно-осадочные, метасоматические, сформированные по фемическому или лейкократовому субстрату) и особенностями их последующих преобразований. Для терригенно-осадочных пород различные источники сноса вносят разнообразие в состав минералов—примесей, как правило, трудно удалимых при обогащении. Особенно часто присутствуют микровостки рутила, характерные для кварца древних гранитоидов (Симанович, 1978). Преобразование терригенно-осадочных кварцитов в сырье для высоких технологий возможно, как и в случае с гранулированным кварцем, преимущественно в шовных зонах динамометаморфизма при высокобарических условиях.

Метасоматические кварциты в зависимости от исходных пород и Р-Т параметров метасоматоза могут обладать высокой химической чистотой. Так, метасо-

матические кварциты месторождения Бурал-Сардыкское (описанные выше) сформированы по химически чистым углеродсодержащим фтанитам (микрокварцитам) без примеси терригенного материала [7]. Дополнительная очистка новообразованных кварцитов происходит в условиях длительного стресса [11] либо под влиянием углекислотных растворов [5], но условия динамометаморфизма зеленосланцевой фации недостаточны для вскрытия газово-жидких включений, что не позволяет получать прозрачное кварцевое стекло.

В пределах Уфалейского блока, в котором локализованы основные месторождения гранулированного кварца на Урале, выделены барические бластомилониты дистен-силлиманитовой фациальной серии с будинами эклогитов, пироксенитов, к которым приурочены метасоматические кварциты, образованные в процессе кислотного выщелачивания по гранат-слюдяно-кварцевым и гранатовым апоэклогитовым амфиболитам [3, 4].

Для изучения кварцитов в рамках Долгосрочной государственной программы ОАО «Суракай» совместно с ФГУП «ЦНИИГеолнеруд» была выполнена работа *«Геолого-технологическая оценка возможности использования кварцитов Восточно-Уфалейской высокобарической зоны (участки Острогорский, Тараторский, Беркутинский) в качестве источника получения высокочистых кварцевых концентратов»* и доказана принципиальная возможность получения концентратов ОЧК из метасоматических кварцитов, сформировавшихся в высокобарической зоне при термодинамических условиях, обеспечивающих природное очищение кварца от вредных примесей. Среднее содержание SiO_2 в мономинеральных кварцитах — 99,1 %. Коэффициент светопропускания кварца, полученных глубоко обогащенных концентратов, составляет в среднем 84 %, что характеризует их как высокосортное сырье [6].

Метасоматические кварциты Уфалейской высокобарической зоны, сформированные в процессе кислотного выщелачивания пород фемического профиля, отнесены к особо чистому кварцевому сырью для получения кварцевых концентратов плавочного качества. Благодаря исходному метагэбброидному и эклогитовому субстрату, изначально обедненному щелочами, полученные концентраты обладают высокой химической чистотой, а высокобарические условия обеспечивают отсутствие флюидной фазы. Определение геологических особенностей формирования метасоматических кварцитов Восточно-Уфалейской высокобарической зоны могут служить основой для выявления аналогичных объектов на территории России. Наряду с изучением кварцитов Восточно-Уфалейской высокобарической зоны были изучены и технологически испытаны кварциты Республики Карелия, перспективность которых была отмечена ранее [8, 9].

Месторождение Меломайс отнесено к наиболее перспективным объектам нетрадиционного кварцевого сырья и представлено кварцево-жильной зоной с содержанием в кварце SiO_2 96, 84 % [9]. По другим данным месторождение сложено пластом кварцитов (Крылова, 2010). Изученные новые глубоко обогащенные кварцевые концентраты характеризуются коэффициентом светопропускания 39 %, содержание структурно-

го алюминия составляет 6,5 ppm, U+Th — 0,09 ppm, B+P — 0,26 ppm. По своим физико-химическим характеристикам кварциты не пригодны для получения концентратов для плавки прозрачных кварцевых стекол. Благодаря низкому содержанию бора и фосфора, они пригодны для получения кристаллического кремния и производства микропорошков различного назначения (благодаря низкому содержанию урана и тория).

Кварциты участка Метчанг-Ярви находятся в составе осадочной толщи кварцито-песчаников. Несмотря на почти мономинеральный состав, полученные глубоко обогащенные кварцевые концентраты характеризуются повышенным содержанием щелочей, суммарным содержанием элементов-примесей — 3 ppm. Содержание Ti в концентрате после обогащения остается также высоким и составляет 4,5 ppm. Обилие газово-жидких включений отражается на пониженном коэффициенте светопропускания, не превышающем 60 %. Это не позволяет использовать кварцевые концентраты для получения стекол. Кварциты изученных объектов Республики Карелия потенциально пригодны для получения поликристаллического кремния «солнечного» качества и выпуска микропорошков различного назначения.

Кварц золоторудной формации был изучен на примере уч. Хосиярви (фланги месторождения Майское, Республика Карелия). При глубоком обогащении получен кварцевый концентрат с суммарным содержанием элементов-примесей — 34,2 ppm и коэффициентом светопропускания — 55,4 %, с содержанием структурного алюминия — 7,0 ppm. Глубоко обогащенный кварцевый концентрат потенциально пригоден для получения поликристаллического кремния «солнечного» качества и выпуска микропорошков (низкое содержание U и Th).

Изучение кварца золотоносной кварцевой жилы Толстиха (Челябинская обл.) показало, что кварц относится к молочно-белому природному типу с суммарным содержанием примесей 20 ppm и показателем светопропускания менее 15 % [2]. Кварц непригоден для плавки прозрачного кварцевого стекла безвакуумным методом.

Исследования *кварца каолиновых кор выветривания* Южного Урала проведены на месторождениях Ковыльское, Коскольское и Еленинское. Такое направление было обосновано и доказано в промышленных масштабах компанией UNIMIN (США) при изучении кварца плагиопегматитов и кор выветривания по ним месторождения Спрус Пайн. Этот кварц послужил сырьевой основой для производства кварцевых концентратов высокой химической чистоты и позволил этой компании утвердиться в качестве мирового монополиста [10].

Кварц изученных Уральских месторождений характеризуется низкими показателями светопропускания (38–50 %), высоким суммарным содержанием элементов примесей (от 280 до 1350 ppm) и повышенным содержанием практически не удаляемых структурных примесей Al (14–42 ppm) и Ti (5,0–6,0 ppm), что делает этот кварц не перспективным для дальнейшего глубокого обогащения и получения кварцевых стекол. В то же время, нельзя исключать возможность выявления кор выветривания, аналогичных месторождению Спрус

Пайн. Поэтому работы в этом направлении должны быть продолжены и ориентированы на выявление кор выветривания, исходные породы которых (продуктивные плагиопегматиты) сформировались в особой геодинамической обстановке с покровно-надвиговыми дислокациями и метаморфизмом дистен-альмандиновой фации, что находит отражение в петрохимии пород в целом и типоморфизме кварца [10].

Повышение инвестиционной привлекательности объектов кварцевого сырья возможно путем комплексного использования сырья. Это характерно для месторождения Спрус Пайн (США), которое разрабатывается на мелкочешуйчатую слюду, керамическое сырье и кварц. При изучении новых кварцевых объектов необходимо акцентировать внимание на получение из кварцевого сырья максимально возможного ассортимента продуктов, в том числе микро- и нанопорошков. Это позволит сократить потери сырья при его переработке и существенно повысить экономическую составляющую освоения месторождения. Кварцевое сырье значительного количества изученных объектов традиционных источников пригодно для получения микро- и нанопорошков.

Проведенные исследования Кыштымским ГОКом микропорошков класса 100 мкм и более тонкого помола в полупромышленных условиях позволили дать положительное заключение о возможности применения тонкодисперсного порошка для изготовления композитов. Высокодисперсные порошки кварца со средним размером частиц 8 мкм использовались для создания новых материалов, в том числе:

- для модификации образцов высокодисперсного кварца с гидрофобными свойствами;

- в качестве наполнителя в виде кварца фракцией 100 мкм, оказывающего существенное влияние на прочностные свойства композита;

- для выпуска модифицированных органических смол для получения полимербетонных смесей с повышенными эксплуатационными свойствами;

- для получения износостойкой и химически стойкой плитки для футеровки технологического оборудования промышленных предприятий и др.

В результате проведенной ревизии перечня объектов недр федерального значения, на основе разработанных критериев, предложен проект «Перечня участков недр кварцевого сырья федерального значения» с выделением объектов с особо чистым кварцевым сырьем (ОЧКС), апробированным технологически. Объекты с пьезооптическим кварцем, которые в настоящее время не относятся к стратегическому минеральному сырью, потребность в котором в настоящее время в России практически полностью отсутствует, предложено оставить в Перечне как комплексный геолого-технологический тип стратегических полезных ископаемых.

Ниже приведены основные критерии отнесения кварцевых объектов к участкам недр федерального значения:

- принадлежность конкретного кварцевого объекта к геолого-технологическому типу, перспективному для получения высокочистых кварцевых концентратов, применяемых в высокотехнологичных отраслях;

- нахождение кварцевого объекта вне площадей заповедников и охранных зон и труднодоступных участков суши (высокогорье);

- запасы объектов должны составлять не менее 50–100 тыс. т, сосредоточенных в крупных жилах или группе жил;

- кварцевые объекты, требующие только подземной отработки, нерентабельны и не могут быть включены в Перечень;

- технологические свойства исходного кварцевого сырья должны быть изучены в объеме, достаточном для установления его пригодности для получения концентратов особо чистого кварца и изделий из него;

- качество получаемого кварцевого концентрата по химической чистоте (сумма элементов-примесей) должно быть не более 30 ppm, а коэффициент светопропускания не ниже 80 % для получения изделий из прозрачного стекла и не ниже 70 % для производства кварцевых тиглей.

Проблема обеспечения высокотехнологичных отраслей промышленности России высокочистыми кварцевыми продуктами (концентраты, микро- и нанопорошки), производимыми из особо чистого кварцевого сырья, резко усугубилась в связи с вводом экономических санкций. Полное понимание инновационных требований промышленности и применение их к развитию отечественной кварцевой минерально-сырьевой базы делает эту задачу решаемой при комплексном и последовательном подходе к ее реализации, включающей изучение минерально-сырьевой базы с выделением объектов особо чистого кварцевого сырья, сочетающейся с разработкой оптимальных технологических схем добычи и переработки (обогащения) кварцевого сырья и апробации получаемых продуктов в промышленных условиях.

За последние годы в связи с тенденциями в развитии микроэлектроники (переход производителей интегральных схем и полупроводниковых приборов на кремниевые пластины диаметром 200 мм и более) и повышения эффективности в солнечной энергетике вырос спрос на крупногабаритные изделия из кварцевого стекла, что привело к росту объемов его потребления и необходимости модернизации морально устаревшего кварцеплавильного оборудования и переоснащению производств. Российские заводы, специализирующиеся в производстве т. н. «расходных материалов» и изделий из кварцевого стекла для электроники, светотехники, оптики и других важнейших направлений, сделать это по известным причинам не смогли и оказались неконкурентноспособными как на внешнем рынке, так и внутри страны. С начала 1990-х годов из-за отсутствия финансирования была ликвидирована научно-исследовательская и машиностроительная база по разработке, изготовлению и внедрению в производство кварцевого стекла нового спецтехнологического оборудования и технологических процессов. В связи с этим без поддержки государства российские предприятия решить вопросы модернизации производства самостоятельно были не в состоянии.

Мировая практика производства высокотехнологичного оборудования на базе кварцевых составляющих во

всех развитых странах базируется на потреблении высокочистых кварцевых концентратов фактически у монопольного производителя — компании UNIMIN (США). В России целесообразно осуществить объединение процессов производства и потребления кварцевых материалов.

В создавшихся условиях представляется необходимым создание вертикально интегрированных современных малотоннажных (на первом этапе) производств по выпуску практически всей необходимой для оборонных отраслей промышленности РФ номенклатуры изделий из высокочистого и высокопрозрачного кварцевого стекла на базе отечественного кварцевого сырья в рамках проводимых мероприятий по импортозамещению. Основную роль при создании этих производств должны сыграть оптимальные по экономическим затратам комплексные геолого-производственные структуры со схемой работы:



Инновационные технологии при производстве геологоразведочных, добычных и обогащательных работ на особо чистое кварцевое сырье рекомендуется сконцентрировать в едином комплексном сертифицированном аналитико-технологическом центре, оснащенном современным оборудованием, позволяющим использовать инновационные методы для оценки качества исходного кварцевого сырья, получаемых концентратов, микро- и нанопорошков и опытных образцов готовых изделий, в т.ч. из стекла. Создание подобного аналитико-технологического центра позволит повысить эффективность геологоразведочных работ, оперативно дифференцировать кварцевое сырье по качественным показателям и обогатимости для различных областей промышленного применения, создавая наиболее благоприятные условия для развития предприятий, использующих кварцевое сырье.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аксенов Е.М., Быдтаева Н.Г., Бурьян Ю.И. и др. Современные проблемы изучения и использования минерально-сырьевой базы кварцевого сырья // Разведка и охрана недр. — 2012. — № 5. — С. 24–27.
2. Анфилов В.Н., Кабанова Л.Я., Игуменцева М.А. и др. Геологическое строение, петрография и технологическая характеристика кварца месторождения Жила Толстиха // Разведка и охрана недр. — 2012. — № 12. — С. 12–17.
3. Белковский А.И. Высокобарические бластомилониты Уфалейского метаморфического блока (Средний Урал) / Магматизм и метаморфизм зоны сочленения Урала и Восточно-Европейской платформы. — Свердловск, 1985. — С. 42–57.
4. Белковский А.И. Геология и минералогия кварцевых жил Кыштымского месторождения. — Миасс-Екатеринбург, 2011.
5. Быдтаева Н.Г., Киселева Р.А., Яшин В.Н. Геологические особенности формирования нового типа гранулированного кварца Гарганского кварценозного района (Восточный Саян): Матер. междунар. семинара. — Сыктывкар, 2004. — С. 185–187.

6. Быдтаева Н.Г., Непряхин А.Е., Милеева И.М. и др. Метасоматические кварциты Восточно-Уфалейской высокобарической зоны — новый геолого-технологический тип высокочистого кварцевого сырья // Разведка и охрана недр. — 2015. — № 4. — С. 34–40.
7. Воробьев Е.И., Спиридонов А.М. Сверхчистые кварциты Восточного Саяна (Республика Бурятия, Россия) // ДАН. — 2003. — Т. 390. — № 2. — С. 219–223.
8. Данилевская Л.А., Скамницкая Л.С., Щипцов В.В. Кварцевое сырье Карелии. — Петрозаводск, 2004.
9. Данилевская Л.А. Карело-Кольская кварценозная провинция // Тр. Карел. НЦ РАН. — 2012. — № 3. — С. 37–55.
10. Крылова Г.И., Скобель Л.С., Митрофанов А.А. и др. Геологические и минералого-геохимические сведения о кварце с торговой маркой (США, штат Северная Каролина). Возможности поисков его аналогов в России // Уральский геологический журнал. — 2003. — № 4.
11. Макрыгина В.А., Федоров А.М. Преобразование кварцитов как следствие поздних тектонических событий в развитии Чуйской и Гарганской глыб // Геология и геофизика. — 2013. — Т. 54. — № 12. — С. 1861–1870.
12. Цюцкий С.С., Кусова Т.А. Каолиновые коры выветривания — новый потенциально перспективный источник кварцевого сырья // Уральский геологический журнал. — 2000. — № 3. — С. 139–144.

© Коллектив авторов, 2015

Аксенов Евгений Михайлович // root@geolnerud.net
Быдтаева Нина Григорьевна // root@geolnerud.net
Бурьян Юрий Иванович // root@geolnerud.net
Колмогоров Юрий Георгиевич // root@geolnerud.net
Непряхин Александр Евгеньевич // root@geolnerud.net
Нигматов Ильмир Наилевич // root@geolnerud.net

УДК 553.89.041+622.379.642.26(47+57)

Полянин В.С., Полянина Т.А., Дусманов Е.Н., Яковлева Е.И. (ФГУП «ЦНИИгеолнеруд»)

МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВАЯ БАЗА ЦВЕТНЫХ КАМНЕЙ РОССИИ: ПЕРСПЕКТИВЫ ЕЕ ОСВОЕНИЯ И РАЗВИТИЯ

*Рассмотрено и оценено состояние минерально-сырьевой базы цветных камней России. Определены основные проблемы ее освоения и развития и намечены пути их решения. **Ключевые слова:** цветной, камень, минерально-сырьевая, база, освоение, развитие, Россия.*

Polyanin V.S., Polyagina T.A., Dusmanov E.N., Yakovleva E.I. (TSNIIGeolnerud)

THE MINERAL RESOURCE BASE OF COLORED STONES IN THE RUSSIAN FEDERATION: AND PERSPEKTIVS OF DEVELOPMENT ARE OUTILITED

*The article diskussed develoment of the mineral resource base colored stones in the Russian Federation. Diskusses problems with this area and ways their solition and proposed. **Key words:** colored stone, mineral resource base, outilitedn, develoment, Russian Federation.*

Россия занимает одно из ведущих мест по запасам камнесамоцветного сырья. В стране известны месторождения и проявления более 50 видов цветных камней. Стабильным спросом на мировом рынке цветных камней пользуются российские изумруды, александриты, демантоиды, хромдиопсиды, нефрит, янтарь, жадеит, чароит (рис. 1, 2).

По состоянию на 01.01.2014 г. Государственным балансом запасов полезных ископаемых РФ учитываются 117 месторождений 30 видов камнесамоцветного сырья